



関西学院大学リポジトリ

Kwansei Gakuin University Repository

電磁石とネオジム磁石との斥力に関する一研究：磁石のN 極どうしが互いに引き合う！？

著者	井頭 均
雑誌名	教育学論究
号	11
ページ	1-6
発行年	2019-12-15
URL	http://hdl.handle.net/10236/00028311

電磁石とネオジム磁石との斥力に関する一研究

— 磁石の N 極どうしが互いに引き合う!? —

A Study of Repulsive Force between Electromagnet and Neodymium Magnet

井 頭 均 *

Abstract

Mr. Masashi Komoda in 2017 made a device for measuring the strength of an electromagnet. He put a neodymium magnet with the N pole uppermost on an electronic scale. He positioned an electromagnet above the neodymium magnet with the N pole downward. The distance between the magnets was initially about 30 to 40 mm. I made the same device to verify that it was useful in measuring the strength of an electromagnet.

I wanted to research what happens when the neodymium magnet and the electromagnet approached each other, specifically how did the repulsive force of both magnets change? When the distance was about 10 mm the repulsive force was at its maximum. As the distance decreased below 10 mm, the repulsive force became smaller. When the interval was less than 7 mm, the N pole of the electromagnet and N pole of the neodymium magnet were very strongly attracted. Eventually the magnets were firmly attached to each other. This was a surprising result which was difficult to understand.

キーワード：電磁石、ネオジム磁石、斥力

I. はじめに

磁石の強さを知るには磁束密度計を用いるとよいが、簡単なものでも10万円程度はする。そこで磁石の強さを知るための最も簡単な方法として、鉄製のクリップや釘を磁石にくっ付けて、どれくらい吊り上げることができるかを調べるのである。しかし、この方法では一回一回のばらつきが大きく、あまり正確さを求めることができない。

筆者は以前、電磁石の芯に入れる針金の数量と電磁石の強さの関係を調べる実験したことがある。そのとき電磁石の強さを吊り上がる釘の数量で測定したが、吊り上がる釘の数量のばらつきが大きかった。そこで少しでも客観性を高めるために、吊り上げる実験を7回くり返し、そのうちの最大値と最小値を切り捨て、残った5回分の平均値を採用した。

2017年、広島大学付属福山高校の小茂田聖士（こもだ まさし）らは、図1のようにネオジム磁石を電子天秤の上に固定し、その数 cm 上に電磁石をア

クリル製の箱に固定して、磁石の同極どうしの斥力（ここでは反発力と呼ぶ）から電磁石の強さを測定する装置を開発した。

今回は、電磁石の芯の針金の数量と磁力の関係を、小茂田らの方法を用いて追実験を行うとともに、電子天秤の上に置いたネオジム磁石と、上の電磁石の間隔（距離）を変えたときの結果について報告する。

II. 実験方法

1. 用いた器具、用具

ボルト（ $\phi = 8 \text{ mm}$ 、 $\ell = 100 \text{ mm}$ 、焼き鈍し処理済）、コイルに用いた導線（ $\phi = 0.4 \text{ mm}$ 、 $\ell = 9.2 \text{ m}$ ）、コイル（幅35 mm のボビンに0～240回巻く）、電磁石の重さ48.6 g、ネオジム磁石（ $\phi = 13 \text{ mm}$ 、厚さ2 mm、2,300 Gauss）、電源（直流電流電源、1.5 V）、電子天秤：-100 g～1,100 g 程度の範囲で測定可能である。

* Hitoshi IGASHIRA 教授

2. ネオジム磁石と電磁石の反発力を用いて、電磁石の強さを測定する装置

- (1) 電子天秤の上にガラス容器の台をセロテープで固定し、その上にネオジム磁石を固定する(上側がN極)。台とネオジム磁石の重さは合計で114.7 g。この状態で、電子天秤の目盛りを0.0 g にリセットする。他の台を使った場合も同様にリセットする。ネオジム磁石をガラス容器の台の上に置いたのは、ネオジム磁石を電子天秤の上に直接置くと、電子天秤がネオジム磁石の強い磁場に影響を受けるかも知れないと考えたからである。
- (2) 大きな箱(丈夫な段ボール箱またはプラスチック製の容器)で、電子天秤、台、ネオジム磁石を被う。電磁石を支える役割をする。
- (3) 箱の上に、ボルトにコイルを巻いた電磁石をセロテープで固定し、直流1.5 Vの電源につなぐ。このとき、電磁石の下がN極となり、

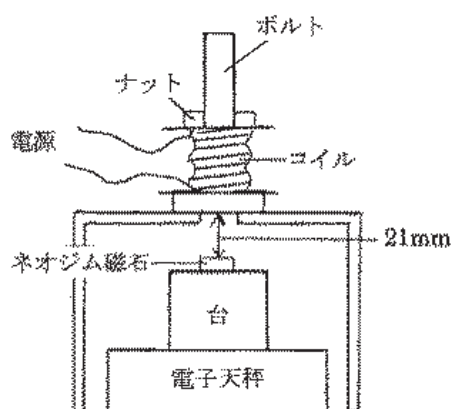


図1. 電磁石の強さを測定する装置の模式図
(N極どうしが向かい合っている)



図2. 電磁石の強さを吸着した釘の数量で測定

電磁石のN極とネオジム磁石のN極どうしが対面するようにする。

Ⅲ. 実験と結果

＜実験1＞コイルの巻き数と磁力の強さ

小茂田らが考案した装置と同様の装置を自作し、この装置でコイルの巻き数と磁石の強さが定量的に測定できるかどうかを確かめる目的で、図1のボルトに導線を0回から240回まで巻き数を増やし、ネオジム磁石と電磁石の反発力の変化を調べた。結果を図3に示す。

多少の誤差はあるものの、上下の磁石の反発力はほぼ直線状に変化しており、コイルの巻き数と反発力は比例関係にあることを示している。

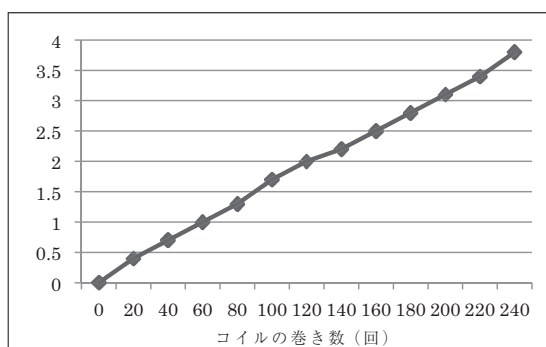


図3. コイルの巻き数と磁力の関係 縦軸：反発力 (g)

＜実験2＞電磁石の鉄心の数量と磁力の関係

以前、電磁石の強さと芯の針金の数量の関係を調べる実験を行ったことがあるが、電磁石の強さを測定するのに電磁石で吊り上げることができる釘の数量で求めていた。今回は、電磁石の強さと芯の針金の数量の関係を調べる実験を、電磁石とネオジム磁石の反発力で測定することを試みた。

電磁石の芯の部分に直径8mmのストローを使って、電磁石の芯に針金(φ=1.2mm、ℓ=40mm)を1本ずつ差し込んで増やしていったときの磁力の強さを調べてみた。なお、このときの電磁石はφ=0.4mm、ℓ=9.2mの導線を使用し、コイルの幅は3.5cm、巻き数は280回。この電磁石を図1の箱の上にセロテープで固定した。両者の距離は実験1と同じで、21mmである。結果を図6に示す。

電源のスイッチを入れると同時に、電子天秤の数値が0gから0.1gを示した。また、針金をコイル(ストロー)の中に1本ずつ挿入していくと、5本

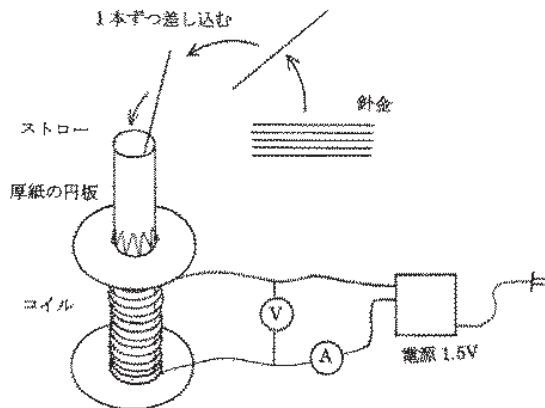


図4. 電磁石の芯の針金の数量と磁力の強さを調べる電磁石

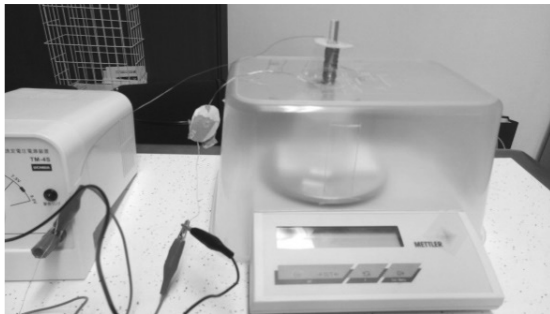


図5. 針金の数量と磁力の強さを調べる装置

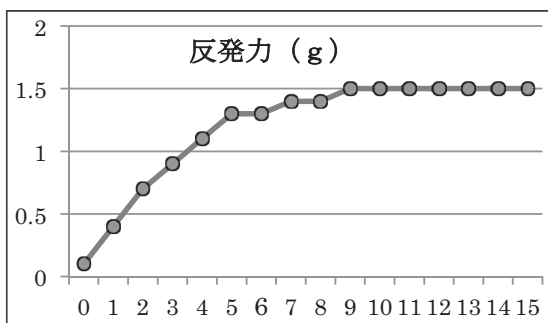


図6. 電磁石の芯の針金の数量と磁力の関係
横軸：針金の数（本）、縦軸：反発力（g）

目くらいまでは針金の数量が増えるとともに反発力が増加していくが、6本を超えた頃からほぼ横ばい状態となって、針金の数量を増やしても反発力は殆ど増加しないで横ばい状態を示した。

この結果は、前回行った実験結果とほぼ同じものであった。すなわち、電磁石の芯の針金がないときは通電しても磁力が微弱であるが、挿入する針金の数が増えるとともに磁力が大きくなっていく。しかし、針金の数量がある程度以上になると、磁力はそれ以上強くならなかった。

＜実験3＞もっと大きな反発力が測定できるように 設定条件を変えた実験

小茂田らが発案した「電磁石の強さを電子天秤の上に固定したネオジム磁石との反発力で測定する」という方法は、本実験でも有効であるという結果が得られた。しかし、反発力の最大値が実験1で4g程度、実験2では1.5g程度、小茂田らの実験でも3.5g程度で、それほど大きいとは言えない。

そこでもっと大きな反発力を得たいと考え、電磁石とネオジム磁石の距離を5mmに近づけて、実験2と同様の実験を行ってみた。結果を図7に示す。

芯のストローに針金が入っていない状態でスイッチを入れてコイルに電流を流すと、2.8gの反発力が生じた。次に、電磁石の芯（ストロー）に針金を1本入れると、予想に反して、反発力はマイナス（-3.5g）になった。反発力がマイナスということは、両者の磁石間で引き合う力が働いていることになる。針金をさらにコイルの芯に差し込んで増やしていくと、引き合う力が徐々に大きくなって、差し込んだ針金の数が16本のとき、-22.7gとなった。

実験を終えようとして電源をオフにすると引き合う力が一気に強くなって、-72.5gを示した。その状態で、芯の針金を1本ずつ抜き取っていくと、図7の○のように両者の引き合う力は減少していった。

電磁石とネオジム磁石の距離が21mmのとき（実験2）と5mmのとき（実験3）では、全く異なった結果が得られた。特に、電磁石のN極とネオジム磁石のN極どうしが反発するのではなく、引き合うような力が働いていることになる。このような

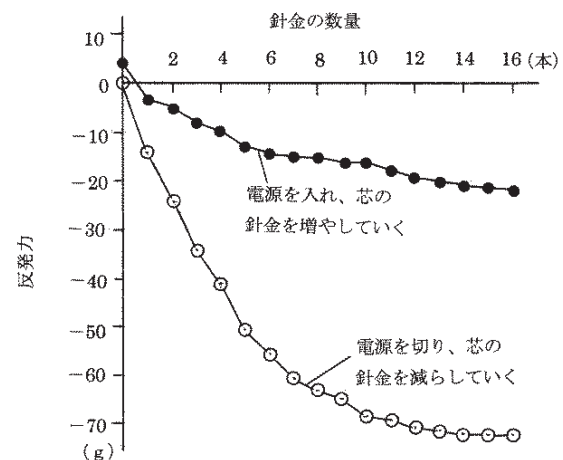


図7. 5mmの距離で、芯の針金の数と反発力の関係

結果を、いったいどのように理解すればよいのであろうか。

＜実験4＞電磁石とネオジム磁石の距離の違いによる反発力の違い

電磁石のN極とネオジム磁石のN極の距離が21 mmでは互いに反発し合い、5 mmでは互いに引き合う結果となったが、それではどの時点で電磁石のN極とネオジム磁石のN極で働く力が反発力から吸引力に変わるのであろうか。これらの疑問に関してさらに詳しく調べる目的で、次のような実験を行った。

図8のように、実験1で用いたボルトに導線を巻いた電磁石にひもを付け、スタンドから吊るした状態で電気を流し、徐々にネオジム磁石に近づけたときの反発力の変化を調べた。ひもの長さは、上のネジを回して調節することができる。

結果を図9に示す。ひもを延ばして電磁石を上から徐々に下げていくと、両者の距離が63 mmの



図8. 両者の距離と反発力を調べる実験

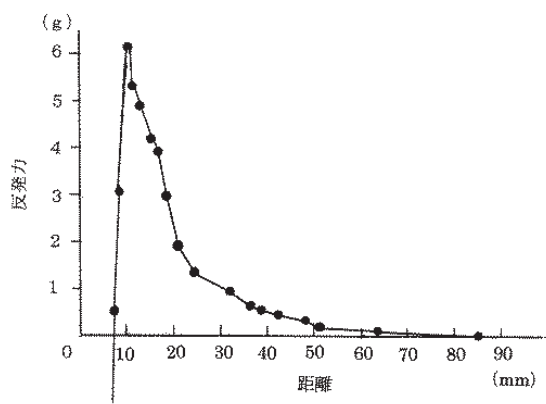


図9. 2つの磁石の距離と反発力の関係

き、電子天秤は初めて0 gから0.1 gに反応した。その後、電磁石が下がるとともに両者の反発力が大きくなり、距離が20 mmよりも小さくなる頃から反発力が増大する。

この頃から、反発力によるイヤイヤ運動（ネオジム磁石に近づくことを避けるような動き）が起こって電磁石の振れが大きくなり、電子天秤の数値が振れて止まらなくなる。そこで、指先で電磁石を支え、電子天秤が示す最大値を採用することにした。距離が10 mmのとき最大6.0 gとなった。

しかし、距離がさらに小さくなると反発力が一気に下降に転じて、7 mm以下ではマイナス（-8.4 g）となる。距離が5 mm以下になると、上の電磁石と下のネオジム磁石の引き合う力が強くなって吸着し、測定不能となった。

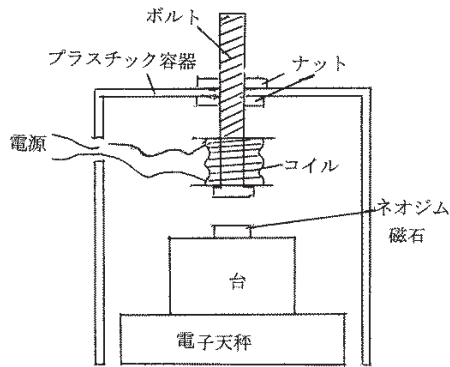
＜実験5＞電磁石が横振れしないように箱に固定して、ネオジム磁石に近づける

実験4では、電磁石とネオジム磁石の距離が30 mm以下になると両者のN極どうしの反発力が大きくなって、電磁石の揺れが大きくなる。そこで、電磁石が揺れないように半透明なプラスチック容器の底に穴を開けてボルトを通して電磁石を固定し、ナットを回転させて電磁石とネオジム磁石の距離を変え、その時の反発力を測定した。結果を図11に示す。

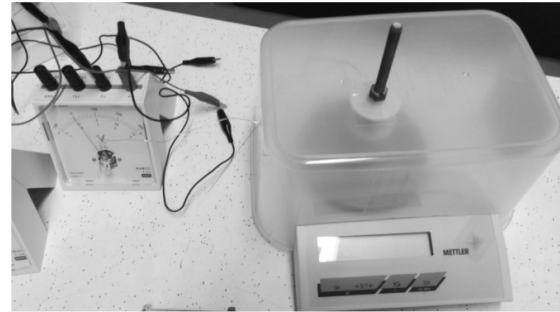
両者の距離が33 mmから少しずつ近づくと連れ、両者の反発力が大きくなり、10 mm前後のとき、最大となる。しかし、距離がさらに近くなると反発力は急激に小さくなって、5 mm前後になると反発力がマイナスとなり、吸着力が増大する。本実験のような設定条件では、電磁石とネオジム磁石の距離が10 mm前後で反発力が最大となるが、それ以上近づくと今度は互いに引き合う力が働くようになることが分かった。

＜実験6＞ボルトを近づけたときの両者に働く力を調べる

電磁石ではなく、ボルトを近づけると、鉄製のボルトはネオジム磁石に引き寄せられるはずである。そこで、実験1および実験4で用いた電磁石を、電気を通さない状態でスタンドから吊り下げて、ネオジム磁石に近づけ、両者の吸引力の変化を調べることにした。これまでの実験と比較するために、グラ



模式図



写真

図10. 容器に固定した電磁石をネオジム磁石に近づけて、反発力を測定する

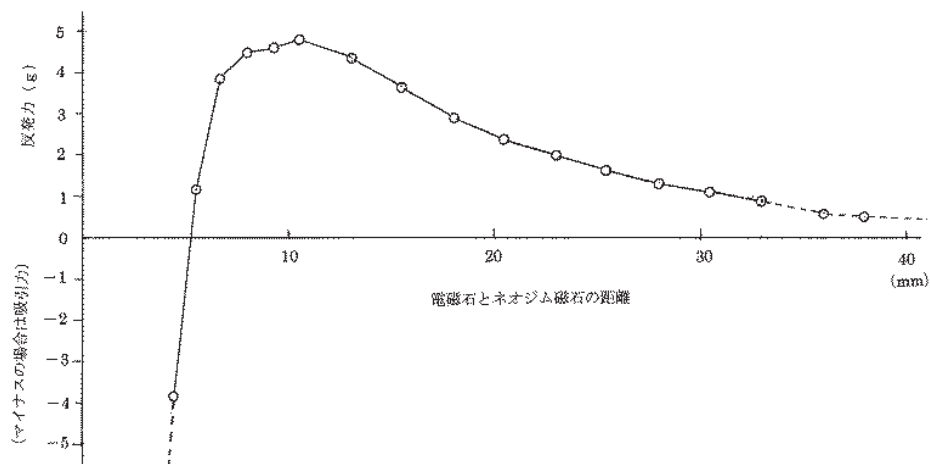


図11. 容器に固定した電磁石のボルトを回転して、ネオジム磁石に近づけたとき、両者間に働く力の変化

フでは吸引力をマイナスの数値で表してある。結果を図12に示す (○)。比較検討のため、実験5の結果も併せて示してある (●)。

ボルトとネオジム磁石の距離が59 mm になったとき、電子天秤が初めて反応して -0.1 g を示した。その後、吸引力は徐々に増しているが、距離が15 mm 以下になると両者間の吸引力は急増し、さらには測定不能となる。

IV. 考察

1. ネオジム磁石との反発力から電磁石の強さを測定する方法の有効性

実験1と実験2の結果より、小茂田らが発案した「ネオジム磁石との反発力から、電磁石の強さを測定する」方法の有効性を確かめることができた。小茂田らの報告では、両者の距離に関して「数 cm」と述べているだけで詳細な説明は何も記述されていない。今回は両者の距離を21 mm に設定したが、

図9および図12を見ると20 mm 前後が妥当であろう。

2. 磁石のN極どうしが互いに引き合う現象

実験3と実験4の結果より、電磁石とネオジム磁石の距離が10 mm よりも小さくなると、電磁石のN極とネオジム磁石のN極の反発力が小さくなって、さらに近づくと互いに引き合うようになることが分かった。

磁石のN極どうしが引き合う現象に関しては、最初どのように考えればよいのか戸惑ったが、実験6で鉄のボルトがネオジム磁石に近づいたときの様子（吸着力が増大する）を観察した頃から、ある程度の推測ができるようになった。すなわち、鉄のボルトがネオジム磁石に近づくと図12の○のように吸着力が増大していくが、コイルに電流を流すことによってボルトが電磁石となり、●のような力の変化になるのであろう。距離が数 mm 以下ではコイル

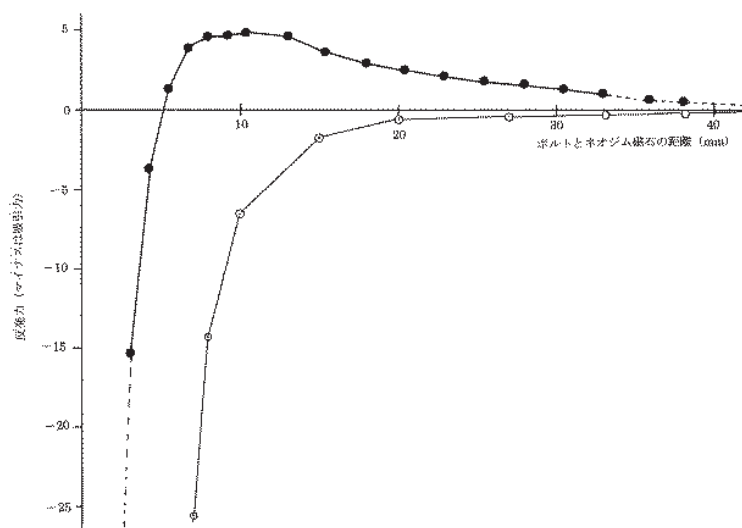


図12. ボルトとネオジム磁石の距離と吸引力の関係 (○)

の作用よりもネオジム磁石の磁力の効果が大きくなって、引き合うことになるのではないだろうか。

鉄が磁化されるとき、磁区の変化が起こるが、最初はコイルの磁場でボルトの頭（下側）がN極を示しているが、距離が数mm以下になると、ボルトの頭（下側）はS極になってしまうからであろう。N極どうしが引き合うのではなく、電磁石のN極がS極（S極がN極）に逆転してしまうのである。このことは、方位磁石で簡単に確かめることができる。

3. ボルトを近づけた場合

実験6で電気を通さない状態で、ボルトをネオジム磁石に近づけた場合、図12のように両者の距離が小さくなればなるほど、両者の吸引力が大きくなって、きれいな双曲線に近い曲線を描いている。

電気的な現象において、2つの帯電体に働く静電気力（F）は、それらの電荷（q、q'）の積に比例し、両者間の距離の2乗（r²）に反比例するというクーロンの法則があるが、磁力の斥力や吸引力においてもクーロンの法則が成り立つものと考えられる。

$$F = k \frac{qq'}{rr}$$

4. ネオジム磁石ではなく、フェライト磁石を用いた場合

今回の実験の続きとして、電子天秤の上にネオジム磁石ではなく、フェライト磁石を置いて同様の実験をした場合、どのような結果になるかについて調

べてみたい。予想としては、今回の実験とよく似た結果を得ることができるものと考えられるが、磁石の内部では少し違った現象が起こるのではないだろうか。

すなわち電磁石とフェライト磁石の距離が離れているときは反発し合っているが、両者が近づくに連れて電磁石の磁場によってフェライト磁石のほうで脱磁化して、ただの酸化鉄の塊（少量のバリウムやストロンチウムを含む）となってしまう。その結果、酸化鉄は電磁石に強い力で引きつけられるようになるのであろうと推測できる。今後、これらの推測が本当に正しいかどうかを実験で確かめてみたい。

○主な参考文献

- ・浅沼満 1977 NとSの世界 東海大学出版
- ・井頭均 1984 磁石の秘密 理科の教育 東洋館 Vol.33 382号 pp.66-69
- ・井頭均 2000 日常の科学 MM出版
- ・遠藤雅守 2014 電磁気学 ナツメ社
- ・橋元淳一郎 2014 物理基礎 東進ブックス
- ・脇島修 2005 電磁石の強さ 大阪と科学教育 大阪府教育センター pp.3-6